ICS 75.060
E 24

中华人民共和国国家标准

GB/T 17747.2—2011
代替 GB/T 17747.2—1999

天然气压缩因子的计算
第 2 部分:用摩尔组成进行计算

**Natural gas—Calculation of compression factor—
Part 2:Calculation using molar-composition analysis**

(ISO 12213-2:2006,MOD)

2011-12-30 发布 2012-06-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目　次

前　言

GB/T 17747《天然气压缩因子的计算》包括以下 3 个部分：

——第 1 部分：导论和指南；

——第 2 部分：用摩尔组成进行计算；

——第 3 部分：用物性值进行计算。

本部分是第 2 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 17747.2—1999《天然气压缩因子的计算　第 2 部分：用摩尔组成进行计算》。

本部分与 GB/T 17747.2—1999 相比主要变化如下：

——按 ISO 12213.2:2006 修改了表 1“微量和痕量组分一览表”中的内容；

——修改了图中的符号和图注；

——删除正文中不确定度数值前的“±”号。

本部分使用重新起草法修改采用 ISO 12213-2:2006《天然气　压缩因子的计算　第 2 部分：用摩尔组成进行计算》。

本部分与 ISO 12213-2:2006 的主要差异是：

——第 2 章规范性引用文件中，将一些适用于国际标准的表述修改为适用于我国标准的表述，ISO 标准替换为我国对应内容的国家标准，其余章节对应内容也作相应修改；

——在 4.4.1 和 4.4.2 增加了将高位发热量和相对密度换算为我国天然气标准参比条件下相应值的注；

——将 B.2.1.1 中注的内容移至 4.3 最后一段；

——删除正文中不确定度数值前的“±”号；

——删除 ISO 标准前言，重新起草本部分前言；

——删除第 5 章的内容；

——删除附录 F 和参考文献；

本部分由全国天然气标准化技术委员会(SAC/TC 244)归口。

本部分起草单位：中国石油西南油气田分公司天然气研究院、中国石油西南油气田分公司安全环保与技术监督研究院。

本部分主要起草人：罗勤、许文晓、周方勤、黄黎明、常宏岗、陈赓良、李万俊、曾文平、富朝英、陈荣松、丘逢春。

天然气压缩因子的计算
第2部分：用摩尔组成进行计算

1 范围

GB/T 17747 的本部分规定了天然气、含人工掺合物的天然气和其他类似混合物仅以气体状态存在时的压缩因子计算方法。

该计算方法是用已知气体的详细的摩尔分数组成和相关压力、温度计算气体的压缩因子。

该计算方法又称为 AGA8-92DC 计算方法，主要应用于在输气和配气正常进行的压力 p 和温度 T 范围内的管输气，计算不确定度约为 0.1%。也可在更宽的压力和温度范围内，用于更宽组成范围的气体，但计算结果的不确定度会增加(见附录 E)。

有关该计算方法应用范围和应用领域更详细的说明见 GB/T 17747.1。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 3102.3—1993 力学的量和单位

GB 3102.4—1993 热学的量和单位

GB/T 11062—1998 天然气发热量、密度、相对密度和沃泊指数的计算方法(ISO 6976:1995，NEQ)

GB/T 17747.1—2011 天然气压缩因子的计算 第1部分：导论和指南(ISO 12213-1:2006，MOD)

3 术语和定义

GB/T 17747.1 给出的术语和定义适用于本文件。文中出现的符号所代表的含义及单位见附录 A。

4 计算方法

4.1 原理

AGA8-92DC 计算方法所使用的方程是基于这样的概念：管输天然气的容量性质可由组成来表征和计算。组成、压力和温度用作计算方法的输入数据。

该计算方法需要对气体进行详细的摩尔组成分析。分析包括摩尔分数超过 0.000 05 的所有组分。对典型的管输气，分析组分包括碳数最高到 C_7 或 C_8 的所有烃类，以及 N_2、CO_2 和 He。对其他气体，分析需要考虑如 H_2O 蒸气、H_2S 和 C_2H_4 等组分。对人造气体，H_2 和 CO 也可能是重要的分析组分。

4.2 AGA8-92DC 方程

AGA8-92DC 计算方法使用 AGA8 详细特征方程(下面表示为 AGA8-92DC 方程，见 GB/T 17747.1)；

该方程是扩展的维利方程，可写作方程(1)：

$$Z=1+B\rho_{m}-\rho_{r}\sum_{n=13}^{18}C_{n}^{*}+\sum_{n=13}^{58}C_{n}^{*}\,(b_{n}-c_{n}k_{n}\rho_{r}^{k_{n}})\,\rho_{r}^{b_{n}}\exp(-c_{n}\rho_{r}^{k_{n}}) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

式中：

Z ——压缩因子；

B ——第二维利系数；

ρ_{m} ——摩尔密度(单位体积的摩尔数)；

ρ_{r} ——对比密度；

b_{n},c_{n},k_{n} ——常数(见表 B.1)；

C_{n}^{*} ——温度和组成函数的系数。

对比密度 ρ_{r} 同摩尔密度 ρ_{m} 相关，两者的关系由方程(2)给出：

$$\rho_{r}=K^{3}\rho_{m} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

式中：

K ——混合物体积参数。

摩尔密度表示为方程(3)：

$$\rho_{m}=p/(ZRT) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

式中：

p ——绝对压力；

R ——摩尔气体常数；

T ——热力学温度。

压缩因子 Z 的计算方法如下：首先利用附录 B 给出的相关式计算出 B 和 C_{n}^{*} ($n=13\sim58$)。然后通过适当的数值计算方法，求解联立方程(1)和(3)得到 ρ_{m} 和 Z。计算程序流程见图 B.1。

4.3 输入变量

AGA8-92DC 计算方法要求输入的变量包括绝对压力、热力学温度和摩尔组成。

摩尔组成包括下列组分的摩尔分数：N_2、CO_2、Ar、CH_4、C_2H_6、C_3H_8、n-C_4H_{10}、i-C_4H_{10}、n-C_5H_{12}、i-C_5H_{12}、C_6H_{14}、C_7H_{16}、C_8H_{18}、C_9H_{20}、$C_{10}H_{22}$、H_2、CO、H_2S、He、O_2 和 H_2O。

注：如果 C_7H_{16}、C_8H_{18}、C_9H_{20}、$C_{10}H_{22}$ 摩尔分数未知，允许用 C_{6+} 表示总的摩尔分数。应进行灵敏度分析，以检验此近似法是否会使计算结果变差。

摩尔分数大于 0.000 05 的所有组分都必须在计算中考虑。痕量组分(如 C_2H_4 等)应按表 1 中指定的赋值组分处理。所有组分的摩尔分数之和为 1±0.000 1。

如果已知体积分数组成，则应将其换算成摩尔分数组成，具体换算方法见 GB/T 11062—1998。

当压力和温度不以 MPa 和 K 表示时，必须将其分别换算成以 MPa 和 K 表示的值(有关换算因子见 GB 3102.3—1993 和 GB 3102.4—1993 以及附录 D)。

表 1 微量和痕量组分一览表

微量和痕量组分	指定赋值组分
O_2	O_2
Ar、Ne、Kr、Xe	Ar
H_2S	H_2S
一氧化二氮	CO_2

表 1（续）

微量和痕量组分	指定赋值组分
氦	CH_4
乙烯、乙炔、甲醇、氢氰酸	C_2H_6
丙烯、丙二烯、甲硫醇	C_3H_8
丁烯、丁二烯、硫氧碳、二氧化硫	$n\text{-}C_4H_{10}$
新戊烷、戊烯、苯、环戊烷、二硫化碳	$n\text{-}C_5H_{12}$
C_6 同分异构体、环己烷、甲苯、甲基环戊烷	$n\text{-}C_6H_{14}$
C_7 同分异构体、乙基环戊烷、甲基环己烷、环庚烷、乙苯、二甲苯	$n\text{-}C_7H_{16}$
C_8 同分异构体、乙基环己烷	$n\text{-}C_8H_{18}$
C_9 同分异构体	$n\text{-}C_9H_{20}$
C_{10}同分异构体和更高碳数烃类	$n\text{-}C_{10}H_{22}$

4.4 应用范围

4.4.1 管输气

AGA8-92DC 计算方法对管输气的应用范围如下：

绝对压力：$0\ \mathrm{MPa} \leqslant p \leqslant 12\ \mathrm{MPa}$

热力学温度：$263\ \mathrm{K} \leqslant T \leqslant 338\ \mathrm{K}$

高位发热量：$30\ \mathrm{MJ \cdot m^{-3}} \leqslant H_S \leqslant 45\ \mathrm{MJ \cdot m^{-3}}$

相对密度：$0.55 \leqslant d \leqslant 0.80$

注：将本条中的高位发热量和相对密度换算为我国天然气标准参比条件下的高位发热量和相对密度，则高位发热量范围为 $27.95\ \mathrm{MJ \cdot m^{-3}} \sim 41.93\ \mathrm{MJ \cdot m^{-3}}$，相对密度范围为 0.550～0.800。

天然气中各组分的摩尔分数应在以下范围以内：

CH_4	$0.7 \leqslant x(CH_4) \leqslant 1.00$
N_2	$0 \leqslant x(N_2) \leqslant 0.20$
CO_2	$0 \leqslant x(CO_2) \leqslant 0.20$
C_2H_6	$0 \leqslant x(C_2H_6) \leqslant 0.10$
C_3H_8	$0 \leqslant x(C_3H_8) \leqslant 0.035$
C_4H_{10}	$0 \leqslant x(C_4H_{10}) \leqslant 0.015$
C_5H_{12}	$0 \leqslant x(C_5H_{12}) \leqslant 0.005$
C_6H_{14}	$0 \leqslant x(C_6H_{14}) \leqslant 0.001$
C_7H_{16}	$0 \leqslant x(C_7H_{16}) \leqslant 0.000\ 5$
C_{8+}	$0 \leqslant x(C_{8+}) \leqslant 0.000\ 5$
H_2	$0 \leqslant x(H_2) \leqslant 0.10$

CO	$0 \leqslant x(CO) \leqslant 0.03$
He	$0 \leqslant x(He) \leqslant 0.005$
H_2O	$0 \leqslant x(H_2O) \leqslant 0.00015$

所有摩尔分数大于 0.000 05 的组分都不可忽略。微量和痕量组分见表 1，并按指定的赋值组分处理。

AGA8-92DC 计算方法仅适用于单相气态（高于露点）混合物在操作压力和操作温度下压缩因子计算。

4.4.2 更宽的应用范围

超出 4.4.1 所给出范围的应用范围如下：

绝对压力：$0\ \text{MPa} \leqslant p \leqslant 65\ \text{MPa}$

热力学温度：$225\ \text{K} \leqslant T \leqslant 350\ \text{K}$

相对密度：$0.55 \leqslant d \leqslant 0.90$

高位发热量：$20\ \text{MJ} \cdot \text{m}^{-3} \leqslant H_S \leqslant 48\ \text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}$

注：将本条中的高位发热量和相对密度换算为我国天然气标准参比条件下的高位发热量和相对密度，则更宽的高位发热量范围为 $18.64\ \text{MJ} \cdot \text{m}^{-3} \sim 44.73\ \text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}$，相对密度范围为 0.550～0.900。

天然气中主要组分摩尔分数允许范围如下：

CH_4	$0.50 \leqslant x(CH_4) \leqslant 1.00$
N_2	$0 \leqslant x(N_2) \leqslant 0.50$
CO_2	$0 \leqslant x(CO_2) \leqslant 0.30$
C_2H_6	$0 \leqslant x(C_2H_6) \leqslant 0.20$
C_3H_8	$0 \leqslant x(C_3H_8) \leqslant 0.05$
H_2	$0 \leqslant x(H_2) \leqslant 0.10$

管输气中微量和痕量组分含量范围见 4.4.1。在超出以上范围应用时，AGA8-92DC 方法的计算性能见附录 E。

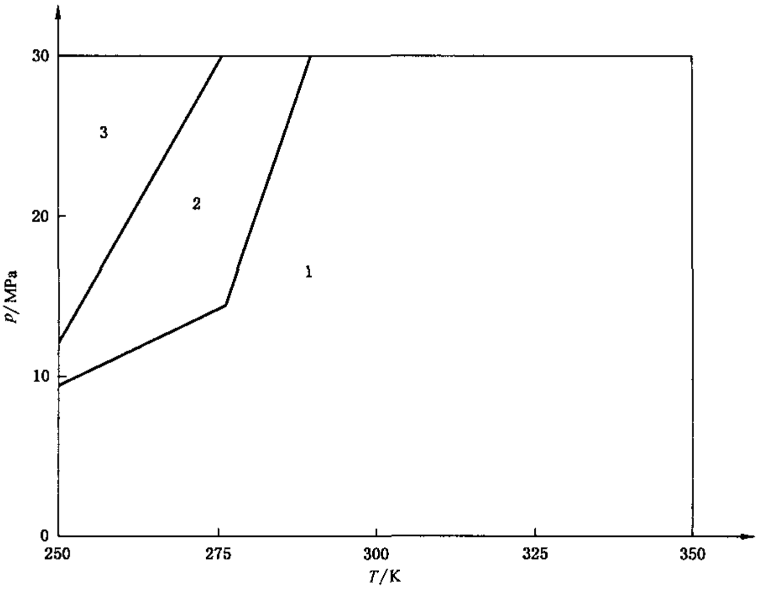
4.5 不确定度

4.5.1 管输气压缩因子计算的不确定度

AGA8-92DC 计算方法在 4.4.1 给出的管输气应用范围（温度为 263 K～350 K，压力最大为 12 MPa）内，计算结果的不确定度为 0.1%（见图 1）。当温度高于 290 K，压力在最大为 30 MPa 的范围内时，计算结果的不确定度也为 0.1%。

温度低于 263 K 时，仅当压力在最高至 10 MPa 的范围内，计算结果的不确定度才能保持在 0.1%内。

不确定度水平是通过将天然气压缩因子计算值与实验值数据库相比较而得到的（天然气压缩因子计算示例见附录 C）。另外还同由称量法配制的模拟天然气混合物的压缩因子实验数据作了详细比较。用于试验本计算方法的两个数据库中实验测定值的不确定度在 0.1%以内。



AGA8-DC92 方程

p——压力；

T——温度；

1 ——$\Delta Z \leqslant 0.1\%$；

2 ——0.1%～0.2%；

3 ——0.2%～0.5%。

注：给出的不确定度范围仅适合于满足下面条件的天然气和类似气体：

$x(N_2) \leqslant 0.20$、$x(CO_2) \leqslant 0.20$、$x(C_2H_6) \leqslant 0.10$、$x(H_2) \leqslant 0.10$、$30\ \mathrm{MJ \cdot m^{-3}} \leqslant H_S \leqslant 45\ \mathrm{MJ \cdot m^{-3}}$、$0.55 \leqslant d \leqslant 0.80$。

图 1　压缩因子计算的不确定度范围

4.5.2　更宽应用范围压缩因子计算的不确定度

超出 4.4.1 给出气质范围的气体压缩因子计算的预期不确定度见附录 E。

4.5.3　输入变量不确定度的影响

表 2 列出的是相关输入变量的典型不确定度值，这些值可在最优操作条件下获得。

根据误差传播分析，输入变量的不确定度会对压力为 6 MPa，温度在 263 K～338 K 范围内的压缩因子计算结果产生约 0.1% 的附加不确定度。当压力大于 6 MPa 时，附加不确定度会更大，且大致与压力成正比例增加。

表 2　相关输入变量的典型不确定度值

输入变量	绝对不确定度
绝对压力	0.02 MPa
温度	0.15 K
惰性组分摩尔分数	0.001
$x(N_2)$	0.001

表 2（续）

输入变量	绝对不确定度
$x(CO_2)$	0.001
$x(CH_4)$	0.001
$x(C_2H_6)$	0.001
$x(C_3H_8)$	0.000 5
$x(C_4H_{10})$	0.000 3
$x(C_{5+})$	0.000 1
$x(H_2)$和 $x(CO)$	0.001

4.5.4 结果的表述

压缩因子和摩尔密度计算结果应保留至小数点后四位或五位，同时给出压力和温度以及所使用的计算方法(GB/T 17747.2，AGA8-92DC 计算方法)。验证计算机程序时，压缩因子计算结果应给出更多的位数。

附 录 A
（规范性附录）
符号和单位

符 号	含 义	单 位
a_n	常数(表 B.1)	—
B	第二维利系数	$m^3 \cdot kmol^{-1}$
B_{nij}^*	混合物交互作用系数〔方程(B.1)和方程(B.2)〕	—
b_n	常数(表 B.1)	—
c_n	常数(表 B.1)	—
C_n^*	与温度和组成相关的系数	—
E_i	组分 i 的特征能量参数(表 B.2)	K
E_j	组分 j 的特征能量参数	K
E_{ij}	第二维利系数的二元能量参数	K
E_{ij}^*	第二维利系数的二元能量交互作用参数	—
F	混合物高温参数	—
F_i	组分 i 的高温参数(表 B.2)	—
F_j	组分 j 的高温能量参数	—
f_n	常数(表 B.1)	—
G	混合物定位参数	—
G_i	组分 i 的定位参数(表 B.2)	—
G_j	组分 j 的定位参数	—
G_{ij}	二元定位参数	—
G_{ij}^*	二元定位交互作用参数(B.3)	—
g_n	常数(表 B.1)	—
H_S	高位发热量	$MJ \cdot m^{-3}$
K	体积参数	$(m^3/kmol)^{1/3}$
K_i	组分 i 的体积参数(表 B.2)	$(m^3/kmol)^{1/3}$
K_j	组分 j 的体积参数	$(m^3/kmol)^{1/3}$
K_{ij}	二元体积交互作用参数(表 B.3)	—
k_n	常数(表 B.1)	—
M	摩尔质量	$kg \cdot kmol^{-1}$
M_i	组分 i 的摩尔质量	$kg \cdot kmol^{-1}$
N	气体混合物的组分数	—
n	整数(1～58)	—
p	绝对压力	MPa

Q	四级参数	—
Q_i	组分 i 的四级参数	—
Q_j	组分 j 的四级参数	—
q_n	常数(表 B.1)	—
R	气体常数(=0.008 314 510)	MJ·(kmol·K)$^{-1}$
S_i	组分 i 的偶极参数(表 B.2)	—
S_j	组分 j 的偶极参数	—
s_n	常数(表 B.1)	—
T	绝对温度	K
U	混合物能量参数	K
U_{ij}	混合物二元能量交互作用参数(表 B.3)	—
u_n	常数(表 B.1)	—
W_i	组分 i 的组合参数(表 B.2)	—
W_j	组分 j 的组合参数	—
w_n	常数(表 B.1)	—
x_i	气体混合物中组分 i 的摩尔分数	—
x_j	气体混合物中组分 j 的摩尔分数	—
Z	压缩因子	—
ρ	质量密度	kg·m^{-3}
ρ_r	气体的对比密度	—
ρ_m	摩尔密度	kmol·m^{-3}

附　录　B
（规范性附录）
AGA8-92DC 计算方法描述

B.1　概述

使用4.2给出的AGA8-92DC方程计算气体混合物的压缩因子Z。本附录将详细描述用AGA8-92DC方程进行压缩因子计算的有关方法和计算机执行程序，并给出必要的常数值。验证计算机程序用的压缩因子数据见附录C。如果计算机程序能够得到与附录C中数据相等的计算结果，则可使用。

B.2　AGA8-92DC 计算方法的计算机执行程序

B.2.1　计算程序概述

B.2.1.1　输入热力学温度 T，绝对压力 p 和混合物中各组分的摩尔分数 x_i；

B.2.1.2　计算状态方程系数 B 和 C_n^* $(n=13\sim58)$，两者均取决于 T 和 x_i；

B.2.1.3　利用改写的状态方程，迭代求解摩尔密度 ρ_m，以得到压力 p；

B.2.1.4　当由B.2.1.3计算出的压力与B.2.1.1的输入压力，在规定的收敛范围内（如 1×10^{-6}）相一致时，即得到压缩因子计算值。

计算程序流程见图B.1。

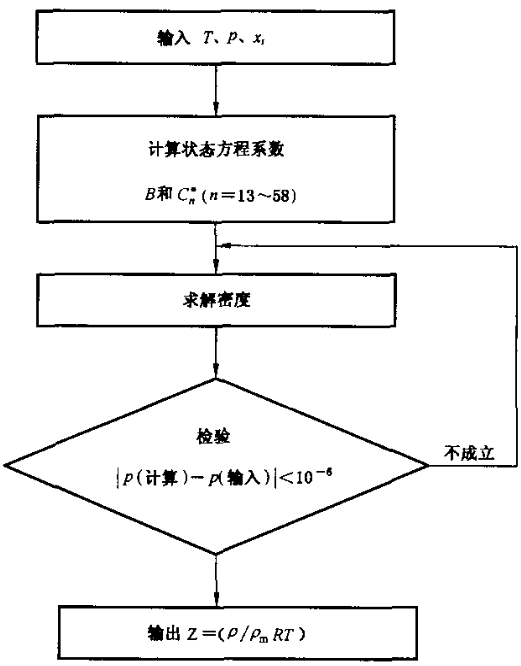


图 B.1　AGA9-92DC 计算方法的程序流程图

B.2.2 计算步骤

B.2.2.1 输入热力学温度 T,绝对压力 p 和混合物中各组分的摩尔分数 x_i;

B.2.2.2 根据 B.2.2.1 中输入的热力学温度 T 和天然气组分摩尔分数 x_i,计算与组成和温度有关的状态方程系数 B 和 C_n^* ($n=13\sim58$)。

第二维利系数 B 由方程(B.1)计算:

$$B=\sum_{n=1}^{18}a_nT^{-u_n}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}x_ix_jB_{nij}^*E_{ij}^{u_n}(K_iK_j)^{3/2} \qquad \text{(B.1)}$$

混合交互作用系数 B_{nij}^* 由方程(B.2)计算:

$$B_{nij}^*=(G_{ij}+1-g_n)^{g_n}(Q_iQ_j+1-q_n)^{q_n}(F_i^{1/2}F_j^{1/2}+1-f_n)^{f_n}(S_iS_j+1-s_n)^{s_n}(W_iW_j+1-w_n)^{w_n} \qquad \text{(B.2)}$$

二元参数 E_{ij} 和 G_{ij} 由方程(B.3)和(B.4)计算:

$$E_{ij}=E_{ij}^*(E_iE_j)^{1/2} \qquad \text{(B.3)}$$

$$G_{ij}=G_{ij}^*(G_i+G_j)/2 \qquad \text{(B.4)}$$

注 B.1:除了表 B.3 中给出的 E_{ij}^* 和 G_{ij}^* 外,所有其他二元交互作用参数 E_{ij}^* 和 G_{ij}^* 的值都是 1.0。

系数 C_n^* ($n=13\sim58$)由方程(B.5)计算:

$$C_n^*=a_n(G+1-g_n)^{g_n}(Q^2+1-q_n)^{q_n}(F+1-f_n)^{f_n}U^{u_n}T^{-u_n} \qquad \text{(B.5)}$$

用共形求解混合方程(B.6)~(B.9)计算混合物参数 U、G 和 Q;二重加和时,i 从 $1\sim N-1$ 变化,而相对每一个 i 值,j 从 $i+1\sim N$ 变化。

$$U^5=\left(\sum_{i=1}^{N}x_iE_i^{5/2}\right)^2+\sum_{i=1}^{N-1}\sum_{j=i+1}^{N}x_ix_j(U_{ij}^5-1)(E_iE_j)^{5/2} \qquad \text{(B.6)}$$

$$G=\sum_{i=1}^{N}x_iG_i+\sum_{i=1}^{N-1}\sum_{j=i+1}^{N}x_ix_j(G_{ij}^*-1)(G_i+G_j) \qquad \text{(B.7)}$$

$$Q=\sum_{i=1}^{N}x_iQ_i \qquad \text{(B.8)}$$

$$F=\sum_{i=1}^{N}x_i^2F_i \qquad \text{(B.9)}$$

注 B.2:除了表 B.3 给出的 K_{ij}、E_{ij}^*、G_{ij}^* 和 U_{ij} 外,所有其他的二元交互作用参数 K_{ij}、E_{ij}^*、G_{ij}^* 和 U_{ij} 的值都为 1.0。表 B.2 中 H_2 的 $F(H_2)=1.0$,而其他组分的 F_i 值都为 0;水的 $W(H_2O)=1.0$,而其他组分的 W_i 值都为 0。

B.2.2.3 在压缩因子 Z 的计算中,气体的组成 x_i、热力学温度 T 和绝对压力 p 都是已知的,问题在于要用表示压力 p 的状态方程来计算摩尔密度 ρ_m。将定义压缩因子 Z 的方程(1)代入方程(3)(见 4.2),获得压力的状态方程(B.10):

$$p=\rho_mRT\left[1+B\rho_m-\rho_r\sum_{n=13}^{18}C_n^*+\sum_{n=13}^{58}C_n^*(b_n-c_nk_n\rho_r^{k_n})\rho_r^{b_n}\exp(-c_n\rho_r^{k_n})\right] \qquad \text{(B.10)}$$

方程(B.10)用标准状态方程密度检索法求解。由于已获得压力 p 的表达式[方程(B.10)],则求解摩尔密度 ρ_m 使计算出的压力与输入的压力两者的差值在预先设定的范围(如 1×10^{-6})以内。

对比密度 ρ_r 通过混合物体积参数 K 与摩尔密度 ρ_m 相关联[见 4.2 中方程(2)]。

混合物体积参数 K 由方程(B.11)计算:

$$K^5=\left(\sum_{i=1}^{N}x_iK_i^{5/2}\right)^2+2\sum_{i=1}^{N-1}\sum_{j=i+1}^{N}x_ix_j(K_{ij}^5-1)(K_iK_j)^{5/2} \qquad \text{(B.11)}$$

注:求和时,下标 i 指的是气体混合物中第 i 个组分;下标 j 指的是气体混合物中第 j 个组分;N 指的是混合物中的

组分数。单重求和中，i 是 1～N 间的整数值。例如，对含 12 个组分的混合物，$N=12$，单重求和中将有 12 项；二重求和中 i 从 1～$N-1$ 变化，而相对每一个 i 值，j 从 $i+1$～N 变化。例如，对含 12 个组分的混合物，如果 K_{ij} 的值都不为 1.0，则二重求和将有 66 项。由于许多 K_{ij} 的值都为 1.0，因此对许多天然气混合物，二重求和中非零项的数目很少。除了表 B.3 给出的 K_{ij} 外，所有其他的 K_{ij} 的值都为 1.0。

B.2.3 求出摩尔密度 ρ_m 后，利用压力、温度、摩尔密度和摩尔气体常数计算压缩因子，见方程(B.12)。

$$Z=p/(\rho_m RT) \qquad \text{(B.12)}$$

密度 ρ 可由方程(B.13)计算：

$$\rho=M\rho_m \qquad \text{(B.13)}$$

式中，M 根据方程(B.14)计算：

$$M=\sum_{i=1}^{N}x_iM_i \qquad \text{(B.14)}$$

密度值应保留至小数点后第三位。

表 B.1 状态方程参数

n	a_n	b_n	c_n	k_n	u_n	g_n	q_n	f_n	s_n	w_n
1	0.153 832 600	1	0	0	0.0	0	0	0	0	0
2	1.341 953 000	1	0	0	0.5	0	0	0	0	0
3	−2.998 583 000	1	0	0	1.0	0	0	0	0	0
4	−0.048 312 280	1	0	0	3.5	0	0	0	0	0
5	0.375 796 500	1	0	0	−0.5	1	0	0	0	0
6	−1.589 575 000	1	0	0	4.5	1	0	0	0	0
7	−0.053 588 470	1	0	0	0.5	0	1	0	0	0
8	0.886 594 630	1	0	0	7.5	0	0	0	1	0
9	−0.710 237 040	1	0	0	9.5	0	0	0	1	0
10	−1.471 722 000	1	0	0	6.0	0	0	0	0	1
11	1.321 850 350	1	0	0	12.0	0	0	0	0	1
12	−0.786 659 250	1	0	0	12.5	0	0	0	0	1
13	$2.291\,290\times10^{-9}$	1	1	3	−6.0	0	0	1	0	0
14	0.157 672 400	1	1	2	2.0	0	0	0	0	0
15	−0.436 386 400	1	1	2	3.0	0	0	0	0	0
16	−0.044 081 590	1	1	2	2.0	0	1	0	0	0
17	−0.003 433 888	1	1	4	2.0	0	0	0	0	0
18	0.032 059 050	1	1	4	11.0	0	0	0	0	0
19	0.024 873 550	2	0	0	−0.5	0	0	0	0	0
20	0.073 322 790	2	0	0	0.5	0	0	0	0	0
21	−0.001 600 573	2	1	2	0.0	0	0	0	0	0
22	0.642 470 600	2	1	2	4.0	0	0	0	0	0
23	−0.416 260 100	2	1	2	6.0	0	0	0	0	0
24	−0.066 899 570	2	1	4	21.0	0	0	0	0	0

表 B.1（续）

n	a_n	b_n	c_n	k_n	u_n	g_n	q_n	f_n	s_n	w_n
25	0.279 179 500	2	1	4	23.0	1	0	0	0	0
26	−0.696 605 100	2	1	4	22.0	0	1	0	0	0
27	−0.002 860 589	2	1	4	−1.0	0	0	1	0	0
28	−0.008 098 836	3	0	0	−0.5	0	1	0	0	0
29	3.150 547 000	3	1	1	7.0	1	0	0	0	0
30	0.007 224 479	3	1	1	−1.0	0	0	1	0	0
31	−0.705 752 900	3	1	2	6.0	0	0	0	0	0
32	0.534 979 200	3	1	2	4.0	1	0	0	0	0
33	−0.079 314 910	3	1	3	1.0	1	0	0	0	0
34	−1.418 465 000	3	1	3	9.0	1	0	0	0	0
35	$-5.999\ 05\times10^{-17}$	3	1	4	−13.0	0	0	1	0	0
36	0.105 840 200	3	1	4	21.0	0	0	0	0	0
37	0.034 317 290	3	1	4	8.0	0	1	0	0	0
38	−0.007 022 847	4	0	0	−0.5	0	0	0	0	0
39	0.024 955 870	4	0	0	0.0	0	0	0	0	0
40	0.042 968 180	4	1	2	2.0	0	0	0	0	0
41	0.746 545 300	4	1	2	7.0	0	0	0	0	0
42	−0.291 961 300	4	1	2	9.0	0	1	0	0	0
43	7.294 616 000	4	1	4	22.0	0	0	0	0	0
44	−9.936 757 000	4	1	4	23.0	0	0	0	0	0
45	−0.005 399 808	5	0	0	1.0	0	0	0	0	0
46	−0.243 256 700	5	1	2	9.0	0	0	0	0	0
47	0.049 870 160	5	1	2	3.0	0	1	0	0	0
48	0.003 733 797	5	1	4	8.0	0	0	0	0	0
49	1.874 951 000	5	1	4	23.0	0	1	0	0	0
50	0.002 168 144	6	0	0	1.5	0	0	0	0	0
51	−0.658 716 400	6	1	2	5.0	1	0	0	0	0
52	0.000 205 518	7	0	0	−0.5	0	1	0	0	0
53	0.009 776 195	7	1	2	4.0	0	0	0	0	0
54	−0.020 487 080	8	1	1	7.0	1	0	0	0	0
55	0.015 573 220	8	1	2	3.0	0	0	0	0	0
56	0.006 862 415	8	1	2	0.0	1	0	0	0	0
57	−0.001 226 752	9	1	2	1.0	0	0	0	0	0
58	0.002 850 908	9	1	2	0.0	0	1	0	0	0

表 B.2 特征参数

识别号	化合物	摩尔质量 M_i $kg\cdot kmol^{-1}$	能量参数 E_i K	体积参数 K_i $(m^3\cdot kmol^{-1})^{1/3}$	定位参数 G_i	四极参数 Q_i	高位参数 F_i	偶极参数 S_i	组合参数 W_i
1	CH_4	16.043 0	151.318 300	0.461 925 5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	N_2	28.013 5	99.737 780	0.447 915 3	0.027 815	0.0	0.0	0.0	0.0
3	CO_2	44.010 0	241.960 600	0.455 748 9	0.189 065	0.690 000	0.0	0.0	0.0
4	C_2H_6	30.070 0	244.166 700	0.527 920 9	0.079 300	0.0	0.0	0.0	0.0
5	C_3H_8	44.097 0	298.118 300	0.583 749 0	0.141 239	0.0	0.0	0.0	0.0
6	H_2O	18.015 3	514.015 600	0.382 586 8	0.332 500	1.067 750	0.0	1.582 200	1.0
7	H_2S	34.082 0	296.355 000	0.461 826 3	0.088 500	0.633 276	0.0	0.390 000	0.0
8	H_2	2.015 9	26.957 940	0.351 491 6	0.034 369	0.0	1.0	0.0	0.0
9	CO	28.010 0	105.534 800	0.453 389 4	0.038 953	0.0	0.0	0.0	0.0
10	O_2	31.998 8	122.766 700	0.418 695 4	0.021 000	0.0	0.0	0.0	0.0
11	i-C_4H_{10}	58.123 0	324.068 900	0.640 693 7	0.256 692	0.0	0.0	0.0	0.0
12	n-C_4H_{10}	58.123 0	337.638 900	0.634 142 3	0.281 835	0.0	0.0	0.0	0.0
13	i-C_5H_{12}	72.150 0	365.599 900	0.673 857 7	0.332 267	0.0	0.0	0.0	0.0
14	n-C_5H_{12}	72.150 0	370.682 300	0.679 830 7	0.366 911	0.0	0.0	0.0	0.0
15	n-C_6H_{14}	86.177 0	402.636 293	0.717 511 8	0.289 731	0.0	0.0	0.0	0.0
16	n-C_7H_{16}	100.204 0	427.722 630	0.752 518 9	0.337 542	0.0	0.0	0.0	0.0
17	n-C_8H_{18}	114.231 0	450.325 022	0.784 955 0	0.383 381	0.0	0.0	0.0	0.0
18	n-C_9H_{20}	128.258 0	470.840 891	0.815 273 1	0.427 354	0.0	0.0	0.0	0.0
19	n-$C_{10}H_{22}$	142.285 0	489.558 373	0.843 782 6	0.469 659	0.0	0.0	0.0	0.0
20	He	4.002 6	2.610 111	0.358 988 8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	Ar	39.948 0	119.629 900	0.421 655 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表 B.3 二元交互作用参数

识别号 i	识别号 j	化合物对		E^*_{ij}	U_{ij}	K_{ij}	G^*_{ij}
1	2	CH_4+	N_2	0.971 640	0.886 106	1.003 630	
	3		CO_2	0.960 644	0.963 827	0.995 933	0.807 653
	4		C_2H_6				
	5		C_3H_8	0.994 635	0.990 877	1.007 619	
	6		H_2O	0.708 218			
	7		H_2S	0.931 484	0.736 833	1.000 080	

表 B.3（续）

识别号		化合物对		E_{ij}^*	U_{ij}	K_{ij}	G_{ij}^*
i	j						
	8		H_2	1.170 520	1.156 390	1.023 260	1.957 310
	9		CO	0.990 126			
	10		O_2				
	11		i-C_4H_{10}	1.019 530			
	12		n-C_4H_{10}	0.989 844	0.992 291	0.997 596	
	13		i-C_5H_{12}	1.002 350			
	14		n-C_5H_{12}	0.999 268	1.003 670	1.002 529	
	15		n-C_6H_{14}	1.107 274	1.302 576	0.982 962	
	16		n-C_7H_{16}	0.880 880	1.191 904	0.983 565	
	17		n-C_8H_{18}	0.880 973	1.205 769	0.982 707	
	18		n-C_9H_{20}	0.881 067	1.219 634	0.981 849	
	19		n-$C_{10}H_{22}$	0.881 161	1.233 498	0.980 991	
2	3	N_2＋	CO_2	1.022 740	0.835 058	0.982 361	0.982 746
	4		C_2H_6	0.970 120	0.816 431	1.007 960	
	5		C_3H_8	0.945 939	0.915 502		
	6		H_2O	0.746 954			
	7		H_2S	0.902 271	0.993 476	0.942 596	
	8		H_2	1.086 320	0.408 838	1.032 270	
	9		CO	1.005 710			
	10		O_2	1.021 000			
	11		i-C_4H_{10}	0.946 914			
	12		n-C_4H_{10}	0.973 384	0.993 556		
	13		i-C_5H_{12}	0.959 340			
	14		n-C_5H_{12}	0.945 520			
3	4	CO_2＋	C_2H_6	0.925 053	0.969 870	1.008 510	0.370 296
	5		C_3H_8	0.960 237			
	6		H_2O	0.849 408			1.673 090
	7		H_2S	0.955 052	1.045 290	1.007 790	
	8		H_2	1.281 790			
	9		CO	1.500 000	0.900 000		
	10		O_2				
	11		i-C_4H_{10}	0.906 849			
	12		n-C_4H_{10}	0.897 362			

表 B.3（续）

识别号		化合物对		E_{ij}^*	U_{ij}	K_{ij}	G_{ij}^*
i	j						
	13		i-C_5H_{12}	0.726 255			
	14		n-C_5H_{12}	0.859 764			
	15		n-C_6H_{14}	0.855 134	1.066 638	0.910 183	
	16		n-C_7H_{16}	0.831 229	1.077 634	0.895 362	
	17		n-C_8H_{18}	0.808 310	1.088 178	0.881 152	
	18		n-C_9H_{20}	0.786 323	1.098 291	0.867 520	
	19		n-$C_{10}H_{22}$	0.765 171	1.108 021	0.854 406	
4	5	C_2H_6+	C_3H_8	1.022 560	1.065 173	0.986 893	
	6		H_2O	0.693 168			
	7		H_2S	0.946 871	0.971 926	0.999 969	
	8		H_2	1.164 460	1.616 660	1.020 340	
	9		CO				
	10		O_2				
	11		i-C_4H_{10}		1.250 000		
	12		n-C_4H_{10}	1.013 060	1.250 000		
	13		i-C_5H_{12}		1.250 000		
	14		n-C_5H_{12}	1.005 320	1.250 000		
5	8	C_3H_8+	H_2	1.034 787			
	12		n-C_4H_{10}	1.004 900			
7	15	H_2S+	n-C_6H_{14}	1.008 692	1.028 973	0.968 130	
	16		n-C_7H_{16}	1.010 126	1.033 754	0.962 870	
	17		n-C_8H_{18}	1.011 501	1.038 338	0.957 828	
	18		n-C_9H_{20}	1.012 821	1.042 735	0.952 441	
	19		n-$C_{10}H_{22}$	1.014 089	1.046 966	0.948 338	
8	9	H_2+	CO	1.100 000			
	10		O_2				
	11		i-C_4H_{10}	1.300 000			
	12		n-C_4H_{10}	1.300 000			

附 录 C
（规范性附录）
计 算 示 例

用 AGA 8 号报告中描述的经过验证的计算机程序对下述示例进行了压缩因子计算，该经验证的计算机程序包含附录 B 所描述的子程序。

表 C.1 以摩尔分数表示的气体组成分析数据

气体组成	1# 气样	2# 气样	3# 气样	4# 气样	5# 气样	6# 气样
$x(CO_2)$	0.006	0.005	0.015	0.016	0.076	0.011
$x(N_2)$	0.003	0.031	0.010	0.100	0.057	0.117
$x(H_2)$	0.00	0.00	0.00	0.095	0.00	0.00
$x(CO)$	0.00	0.00	0.00	0.010	0.00	0.00
$x(CH_4)$	0.965	0.907	0.859	0.735	0.812	0.826
$x(C_2H_6)$	0.018	0.045 0	0.085	0.033	0.043	0.035
$x(C_3H_8)$	0.004 5	0.008 4	0.023	0.007 4	0.009	0.007 5
$x(i\text{-}C_4H_{10})$	0.001 0	0.001 0	0.003 5	0.001 2	0.001 5	0.001 2
$x(n\text{-}C_4H_{10})$	0.001 0	0.001 5	0.003 5	0.001 2	0.001 5	0.001 2
$x(i\text{-}C_5H_{12})$	0.000 5	0.000 3	0.000 5	0.000 4	0.00	0.000 4
$x(n\text{-}C_5H_{12})$	0.000 3	0.000 4	0.000 5	0.000 4	0.00	0.000 4
$x(C_6H_{14})$	0.000 7	0.000 4	0.00	0.000 2	0.00	0.000 2
$x(C_7H_{16})$	0.00	0.00	0.00	0.000 1	0.00	0.000 1
$x(C_8H_{18})$	0.00	0.00	0.00	0.000 1	0.00	0.00

表 C.2 压缩因子计算结果

条件		1# 气样	2# 气样	3# 气样	4# 气样	5# 气样	6# 气样
p bar	t ℃						
60	−3.15	0.840 53	0.833 48	0.793 80	0.885 50	0.826 09	0.853 80
60	6.85	0.861 99	0.855 96	0.822 06	0.901 44	0.849 69	0.873 70
60	16.85	0.880 06	0.874 84	0.845 44	0.915 01	0.869 44	0.890 52
60	36.85	0.908 67	0.904 66	0.881 83	0.936 74	0.900 52	0.917 23
60	56.85	0.930 11	0.926 96	0.908 68	0.953 18	0.923 68	0.937 30
120	−3.15	0.721 33	0.710 44	0.641 45	0.810 24	0.695 40	0.750 74
120	6.85	0.760 25	0.750 66	0.689 71	0.837 82	0.737 80	0.785 86
120	16.85	0.793 17	0.784 75	0.731 23	0.861 37	0.773 69	0.815 69
120	36.85	0.845 15	0.838 63	0.796 97	0.899 13	0.830 22	0.863 11
120	56.85	0.883 83	0.878 70	0.845 53	0.927 66	0.872 11	0.898 62
注：1 bar=0.1 MPa							

附 录 D
（规范性附录）
压力和温度的换算因子

如果输入压力和温度的单位不是 MPa 和 K，为了使用附录 B 描述的计算机执行程序进行计算，应作单位换算。部分换算因子如下：

压力：

$p(\mathrm{MPa})=[p(\mathrm{bar})]\times 10^{-1}$

$p(\mathrm{MPa})=[p(\mathrm{atm})]\times 0.101\,325$

$p(\mathrm{MPa})=[p(\mathrm{psia})]/145.038$

$p(\mathrm{MPa})=[p(\mathrm{psig})+14.695\,9]/145.038$

温度：

$T(\mathrm{K})=t(℃)+273.15$

$T(\mathrm{K})=[t(^\circ\mathrm{F})-32]/1.8+273.15$

$T(\mathrm{K})=[t(^\circ\mathrm{R})]/1.8$

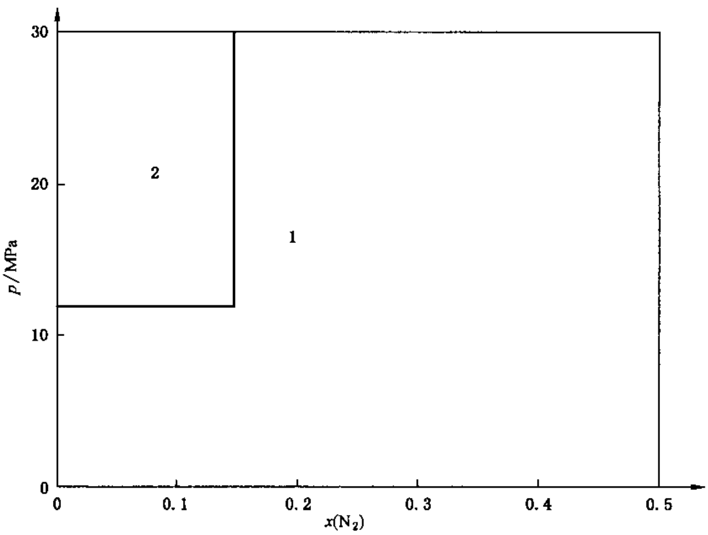
附 录 E
（资料性附录）
更宽范围的应用效果

在温度 263 K～338 K、压力最高至 30 MPa 的范围内，利用实验测定值数据库，对 AGA8-92DC 计算方法进行了全面检验，这些实验数据取自给定组成范围内的管输气（见 4.4.1），在此组成范围内压缩因子计算的不确定度已在 4.5 中给出。

对更宽范围（对组成而言）天然气（见 4.4.2）压缩因子计算的不确定度的粗略估计，见图 E.1～图 E.4。图中以压力为纵坐标，横坐标分别为 N_2、CO_2、C_2H_6 和 C_3H_8 含量。

图 E.1～图 E.4 显示了在压力最高为 30 MPa 的范围内，AGA8-92DC 计算方法的应用效果。不确定度范围取决于压力、温度和组成，也强烈地受到相界位置的影响。图 E.1～图 E.4 中给出的不确定度极限是在最坏情况下获得的结果，也就是说它们不是最佳选择。

实验数据不足以决定不确定度范围的边界位置时，用虚线将所估计的不确定度区划为两个区域。气体全组成对相界位置会有强烈的影响，使用者应当进行相界计算。



AGA8-92DC 方程（T=263 K～338 K）

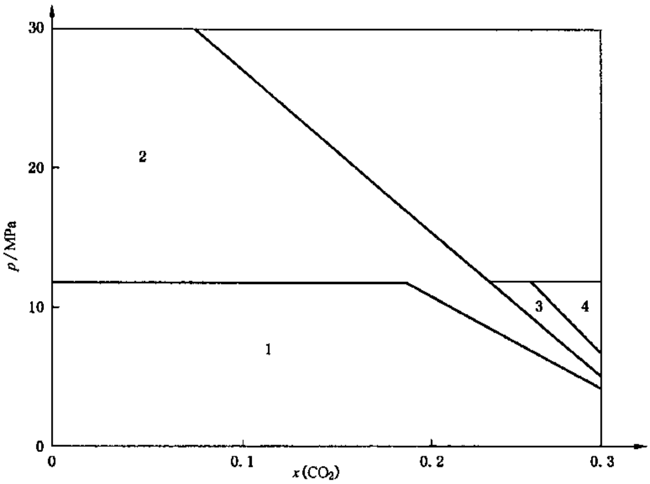
p ——压力；

x_{N_2} ——N_2 的摩尔分数；

1 ——$\Delta Z \leqslant 0.1\%$；

2 ——ΔZ 0.1%～0.2%。

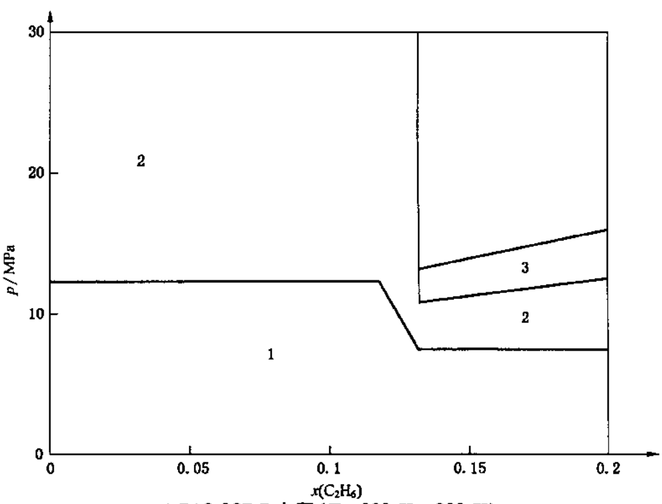
图 E.1 计算高含 N_2 天然气压缩因子时不确定度的估计范围



AGA8-92DC 方程(T=263 K～338 K)

p ——压力；
$x(CO_2)$——CO_2 的摩尔分数；
1 ——$\Delta Z \leqslant 0.1\%$；
2 ——ΔZ 0.1%～0.2%；
3 ——ΔZ 0.2%～0.5%；
4 ——ΔZ 0.5%～3.0%。

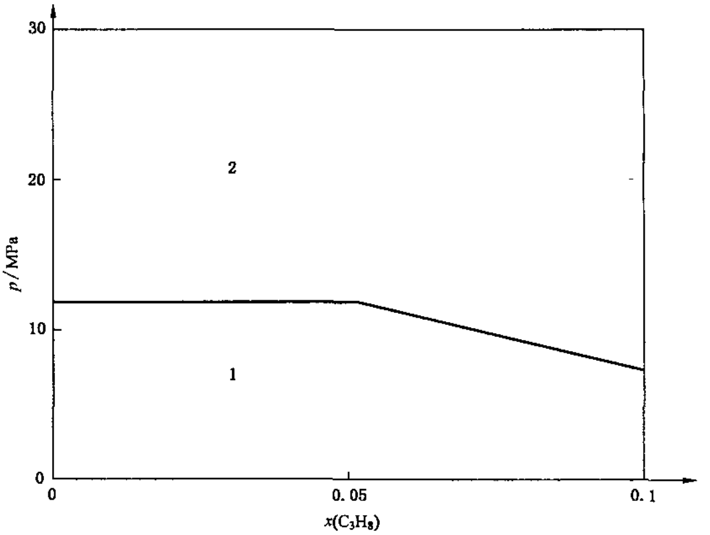
图 E.2 计算高含 CO_2 天然气压缩因子时不确定度的估计范围



AGA8-92DC 方程(T=263 K～338 K)

p ——压力；
$x(C_2H_6)$——C_2H_6 的摩尔分数；
1 ——$\Delta Z \leqslant 0.1\%$；
2 ——ΔZ 0.1%～0.2%；
3 ——ΔZ 0.2%～0.5%。

图 E.3 计算高含 C_2H_6 天然气压缩因子时不确定度的估计范围



AGA8-92DC 方程(T=263 K～338 K)

p ——压力；

$x(C_3H_8)$——C_3H_8 的摩尔分数；

1 ——$\Delta Z \leqslant 0.1\%$；

2 ——0.1%～0.2%。

图 E.4 计算高含 C_3H_8 天然气压缩因子时不确定度的估计范围

压力最高至 10 MPa，温度在 263 K～338 K 时，压缩因子计算的综合结果总结如下：在给定的压力温度范围之内，只有组分摩尔分数在表 E.1 列出值范围内的气体，其压缩因子计算的不确定度才分别在 0.1%，0.2%和 0.5%以内。

表 E.1 AGA8-92DC 计算方法的计算综合结果

组 分	不确定度范围内的摩尔分数		
	0.1%	0.2%	0.5%
N_2	≤0.50	—	—
CO_2	≤0.23	≤0.26	≤0.28
C_2H_6	≤0.13	≤0.20	—
C_3H_8	≤0.06	≤0.10	—